引用格式：杨红生，丁德文. 海洋牧场3.0: 历程、现状与展望. 中国科学院院刊, 2022, 37(6): 832-839.
Yang H S, Ding D W. Marine ranching version 3.0: History, status and prospects. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(6): 832-839. (in Chinese)

海洋牧场3.0：历程、现状与展望

杨红生[1,3,4,5*]　丁德文[2]

1 中国科学院海洋研究所 中国科学院海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071
2 自然资源部第一海洋研究所 青岛 266061
3 中国科学院海洋大科学研究中心 青岛 266071
4 中国科学院海洋牧场工程实验室 青岛 266071
5 中国科学院大学 现代农业科学学院 北京 100049

摘要　20世纪30年代以来，海洋牧场的建设先后经历了以农牧化和工程化为特征的海洋牧场1.0（即传统海洋牧场）阶段和以生态化和信息化为特征的海洋牧场2.0（即海洋生态牧场）阶段，如今即将进入以数字化和体系化为特征的海洋牧场3.0（即涵盖淡水和海洋的全域型水域生态牧场）阶段。海洋牧场3.0必须坚持"生态、精准、智能、融合"的现代化水域生态牧场发展理念，以保护与利用并进、场景空间拓展、核心技术突破、发展模式创新为特征，构建科学选址—规划布局—生境修复—资源养护—安全保障—融合发展的全链条产业技术发展格局，打造北方海洋牧场"现代升级版"，拓展南方海洋牧场"战略新空间"，开启水域生态牧场"淡水新试点"，支撑国家级海洋牧场示范区建设，引领国际现代化水域生态牧场建设与发展。

关键词　人工鱼礁，增殖放流，水域，海洋牧场，水域生态牧场

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20211117011

世界各国高度重视水域资源的保护和养护，沿海国家大多采用建设海洋牧场等方式来保护生态环境和增殖渔业资源。从海洋牧场的建设历程来看，其先后经历了以"农牧化和工程化驱动的人工鱼礁投放、资源增殖放流"为特征的海洋牧场1.0阶段和以"生态化和信息化驱动的规模化建设"为特征的海洋牧场2.0阶段。整体而言，无论是海洋牧场，还是内陆大水面生态渔业，其核心都是生物资源养护与生态环境修复。内陆水体和海洋在空间和功能上是相通的，保护与修复的原理和技术是相近的，在传统海洋牧场构建理论和实践的基础上，从海水拓展到淡水的全域型水域生态牧场发展理念应运而生[1]。可以预见的

*通信作者

资助项目：国家重点研发计划（2021YFB3901304），国家自然科学基金重点项目（42030408），山东省重大科技创新工程项目（2019JZZY010812）

修改稿收到日期：2022年4月24日；预出版日期：2022年4月29日

是，在践行“绿水青山就是金山银山”理论（以下简称“两山理论”）和实现碳达峰、碳中和（以下简称“双碳”）目标的过程中，以数字化和体系化为特征、兼顾淡水和海洋的全域型水域生态牧场建设，即海洋牧场3.0阶段即将到来。

1 海洋牧场1.0

为应对渔业资源衰退问题，沿海国家逐渐加大对海洋的开发力度，开始探索建设海洋牧场并进入以农牧化和工程化为驱动力、以人工鱼礁建设和增殖放流为主要建设方式的海洋牧场1.0阶段，即传统海洋牧场阶段。

1.1 理念提出

中国海洋牧场的建设理念可以追溯到20世纪40年代，我国科学家先后提出“水就是生物的牧场”“海洋农牧化”“使海洋成为种养殖藻类和贝类的‘农场’，养鱼、虾的‘牧场’，达到‘耕海’目的”等创新理念[2]；早期的建设始于20世纪70年代末，主要方式为人工鱼礁建设和增殖放流。美国在1968年制定了“海洋牧场建设计划”，并于1974年在加利福尼亚建立了海洋牧场，将海洋牧场建设与观光、游钓等休闲娱乐产业结合起来发展休闲渔业，取得了良好的生态和经济效益[3]。日本在1971年举行的海洋开发审议会上提出海洋牧场的定义；在1980年召开的农林水产技术会议上论证“海洋牧场化计划”，将其阐述为“栽培渔业高度发展阶段的形态”；在1987年完成《海洋牧场计划》的制定[4]。韩国从1998年开始实施海洋牧场计划，并在2002年颁布的《韩国养殖渔业育成法》中将海洋牧场定义为“在一定的海域综合设置水产资源养护的设施，人工繁育和采捕水产资源的场所”[5]。

1.2 建设特征

纵观国际海洋牧场的建设历程，整体上经过了探索期、雏形期、幼年期和快速发展期4个时期[6]。由于不同国家和地区的生态环境特征、经济发展状况、科技发展水平和生活文化传统等方面存在差异，不同国家出现了各具特色的海洋牧场建设模式。例如：调动公民积极参与并以休闲渔业为特色的美国模式；依靠技术支持并注重自然生态环境修复与生物资源养护的日本模式；注重政府宏观指导下苗种繁育和资源生物增殖的韩国模式；加强渔业资源管理并注重人工鱼礁建设和资源生物增殖放流的中国模式等[7]。总体而言，各国在海洋牧场建设方面主要呈现以下2个特征。

（1）人工鱼礁营造牧场生境。① 美国。1935年在新泽西州梅角海域建造了全球首座人工鱼礁，于1951年在佛罗里达州等开展了人工鱼礁建设规模化试验，促进了垂钓业和捕捞业的发展。此后，人工鱼礁的建设海域进一步拓展到美国西部和墨西哥湾。截至2000年，美国建造的人工鱼礁超过2 400处。调查结果显示，美国人工鱼礁建造成效显著，建礁后海区的渔业资源增加到原来的43倍，每年可增加约500万吨渔业产量[8]。② 日本。1952年提出利用水生生物偏好聚集在沉船和礁石的习性，投放混凝土块建设人工鱼礁，实现增加渔业资源和提高采捕效率[9,10]。在开发和建设海洋牧场的过程中，日本非常重视人工鱼礁对鱼类等生物的聚集效果，通过水槽模型试验等方法系统地研究了人工鱼礁的水动力学特征，总结了不同人工鱼礁礁体模型的流体力学特性[11]；注重环境承载力的评估及经济效益与生物资源养护的平衡，将人工鱼礁建设、关键物种增殖放流、生物行为控制与驯化等技术融入渔业管理体系[12]。③ 韩国。1971年开始建设育苗场，先后建设了19个地区级和国家级育苗场。同年，在江原道襄阳水域投放混凝土四方形人工鱼礁，此后每年都会在沿岸水域设置5万个以上多种类型的人工鱼礁。自1998年起，在南部的庆向南道南岸建造海洋牧场，落实“海洋牧场计划”[5]。④ 中国。1979年在广西钦州沿海区域投放了26座试验性小型单体人工鱼礁[13]；1984年成立了全国人工鱼礁推

广试验协作组，推动人工鱼礁建设的健康快速发展。2006 年，国务院发布了《中国水生生物资源养护行动纲要》。据统计，截至 2016 年，全国用于海洋牧场建设的资金总数达 55.8 亿元人民币，已建成海洋牧场 200 多个，投放鱼礁超过 6 000 万空立方米①。

（2）增殖放流养护牧场资源。增殖放流是海洋生物资源修复最为广泛采用的措施。1842 年，法国最早开展鳟鱼人工增殖放流；1860—1880 年，美国、加拿大、俄国和日本等国家实施大规模鲑科鱼类增殖；20 世纪 80—90 年代，全球范围内约有 64 个国家和地区对超过 180 种海洋物种开展了增殖放流活动，其中包括美国 22 种、日本 72 种、韩国 14 种和中国 14 种等[14]。自 20 世纪 50 年代起，我国开始在淡水湖泊以放养方式增殖渔业资源；自 20 世纪 80 年代开始，在黄渤海和东海开展对虾的增殖放流试验；2006 年以来，《中国水生生物资源养护行动纲要》《国家重点保护经济水生动植物资源名录》《水生生物增殖放流管理规定》等政策文件相继颁布实施，沿海各省市积极开展了人工鱼礁建设和增殖放流活动。15 年来，我国累计举办增殖放流活动场次超过 1.5 万，参与人次超过 300 万，放流水域遍及全国重要江河、湖泊、水库和近海海域，累计增殖各类水产苗种 3 727 亿余单位。

1.3 存在问题

（1）牧场建设理念亟待创新。尽管在思想上重视资源的增殖与保护，但实施过程中“重增殖效果、轻功能恢复”的现象始终存在；大部分海洋牧场建设仍以提高水产品产量为主要目的，未能充分体现海洋牧场的生态系统恢复功能和环境修复功能，难以抵御环境与生态灾害；牧场建设的技术和装备尚处于低水平，同质化现象严重，大多只考虑经济效益，而忽视生态效益和社会效益。

（2）牧场建设体系亟待完善。缺乏海洋牧场结构、功能与过程的系统化基础研究；建设区域选择缺乏科学理论依据，规划布局未能充分考虑拟建海域的生态系统结构功能特征，生境营造工程技术水平较低；增殖放流种类单一；牧场食物网过于简单、稳定性差，未能充分体现牧场构建的生态性和科学性。

（3）牧场建设管理亟待规范。缺乏系统监测技术和数据，不能准确评估海洋牧场生物承载力；生物资源效应认知不明，难以确定牧场建设规模；尚未建立海域自然与生态灾害监测及防控技术，风险防控管理水平不高。

2 海洋牧场2.0

近年来，国际海洋牧场建设仍以人工鱼礁投放与增殖放流等方式为主，在理论与技术方面未见显著突破。而我国在创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念指引下，加强海洋牧场建设已成为“两山理论”在海洋领域的重要践行方式。在海洋牧场 1.0 的基础上，海洋牧场 2.0 阶段的现代化海洋牧场建设理论不断深入、技术创新显著增强，更加重视生态环境保护和生物资源养护；海洋牧场的建设不再等同于单纯的投放人工鱼礁和增殖放流活动，而是在渔业环境保护和资源养护的基础上，致力于通过提供优质、安全、健康的水产品改善国民营养和膳食结构。尤其是以生态化和信息化为驱动力的国家级海洋牧场示范区启动建设，标志着我国进入了海洋牧场 2.0 阶段，即海洋生态牧场阶段。

2.1 理念创新

（1）坚持生态优先。健康的海洋生态系统是建设海洋牧场的重要基础。发展海洋牧场不能以牺牲生态环境为代价，必须坚持生态优先原则，重视生态环境修复和生物资源养护，并根据海域生物承载力确定合理的建设规模。

① 农业部关于印发《国家级海洋牧场示范区建设规划（2017—2025 年）》的通知 . (2017-11-20)[2022-04-24]. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2017/201711/201802/t20180201_6136235.htm.

（2）坚持陆海统筹。海洋牧场建设区域应包括海域与毗连陆地，海域是生境修复和增殖放流的实施空间；陆地不仅是牧场管理与苗种生产的基地，也是加工、旅游、科普等产业的落脚点。陆海区域有机衔接融合，实现盐碱地生态农场-滩涂生态农牧场-浅海生态牧场的“三场连通”。

（3）坚持三产贯通。海洋牧场产业体系应包括水产品生产、礁体和装备制造、休闲渔业等产业，形成水产品生产-精深加工-休闲渔业“三产融合”的现代化海洋牧场产业架构。

（4）坚持四化同步。生态化、工程化、自动化、信息化是海洋牧场 2.0 的集中体现和发展方向，是应对环境灾害、提高生产效率、降低生产成本的重要保障。

2.2 建设特征

（1）建设内容更加丰富。随着相关研究和实践的稳步推进，我国自然生境（如海藻场、海草床、牡蛎礁、珊瑚礁等）构建、苗种培育、设施与工程装备、环境监测评价等海洋牧场建设关键技术逐渐成熟，增殖放流也得以加强。自 2015 年起，每年 6 月 6 日成为全国“放鱼日”。“十三五”期间累计投入资金 50 多亿元人民币，放流各类水生生物苗种 1 900 多亿单位。

（2）建设技术显著提升。坚持生态优先、原创驱动、技术先导和工程实施的基本原则，突破了生境修复、资源养护、安全保障等一系列关键技术，成功构建形成海上的“绿水青山”。① “因海制宜”。突破了南、北方典型海域生境修复新技术，完成了海洋牧场生境从局部修复到系统构建的跨越。② “因种而异”。突破了关键物种资源修复技术，实现了生物资源从生产型修复到生态型修复的跨越。③ “因数而为”。突破了环境与生物资源远程实时监测和预警预报技术，实现了海洋牧场从单因子监测评价到综合预警预报的跨越。从原理认知、设施研发、技术突破和应用推广 4 个层面出发，进一步发展了海洋牧场理论与技术应用体系，初步构建形成了涵盖国家、行业、地方和团体的标准体系。

（3）建设模式推广示范。2015 年底，首批 22 个国家级海洋牧场示范区获批启动建设。截至 2021 年底，覆盖渤海、黄海、东海和南海的 153 个国家级海洋牧场示范区相继获批建设。2016—2020 年，农业农村部（2018 年前为农业部）共投入 26 亿余元人民币，支持 113 个人工鱼礁建设项目，累计投放鱼礁超过 5 000 万空立方米。海洋牧场作为海洋渔业的新业态，具有显著的固碳增汇能力。据测算，我国已建成的海洋牧场年固碳量达到 32 万吨，消减氮 27 961 吨、磷 2 795 吨，每年产生生态效益 1 003 亿元人民币。

2.3 存在问题

（1）系统建设技术体系亟待创新。实现理念、装备、技术、管理的现代化是成功建设海洋牧场的关键。① 相关原理亟待揭示。例如，基础生境构建机理、牧场海域小尺度生态系统结构功能分析与生物承载力评估、资源最大可持续产量预测等，均是有效实施生境修复和资源养护的前提。② 现代化工程设施设备亟待研发。尤其是适用于不同海域的高效资源增殖养护设施、资源环境监测装备和大型海产品自动化加工设备。③ 相关技术亟待突破。诸如：牧场科学选址和生态均衡布局、食物网结构优化、生物制御、生境适宜性评价、目标导向性鱼礁设施设计、资源高效增殖与生态采捕、生态灾害预警预报等。④ 管理体系亟待提升。陆海联动管理有待加强，需要构建覆盖海洋牧场全过程的专家决策系统等。

（2）规划建设标准体系亟待制定。现阶段海洋牧场建设标准体系尚未完善，需要加强国家、行业标准和技术规范的制定，并根据海域所属地区的自然环境特征和经济发展状况制定地方和团体标准，为海洋牧场标准化和规范化建设提供支持和指导。

（3）建设效果评价体系亟待完善。由于海洋牧场类型、规模和管理等方面存在差异，不同地区海洋牧场建设的成效有所不同，质量也参差不齐。然而，目前仍

缺乏成熟的综合效果评价体系，难以量化评估海洋牧场建设的成效。因此，亟待制定科学可行的绩效评价体系，以保证海洋牧场建设的质量和产业的健康发展。

3 海洋牧场3.0

我国高度重视现代化海洋牧场建设与发展。现代化海洋牧场是集环境保护、资源养护与渔业资源持续产出于一体，实现优质蛋白供给和维护近海生态安全的新业态。自2017年起，历年中央一号文件多次强调建设和发展现代化海洋牧场。2018年，习近平总书记在庆祝海南建省办经济特区30周年大会上的讲话中指出，“支持海南建设现代化海洋牧场”。2021年发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中特别提出了“优化近海绿色养殖布局，建设海洋牧场，发展可持续远洋渔业”的宏伟目标。2021年11月，我国首个海洋牧场建设的国家标准《海洋牧场建设技术指南》正式发布。面对新形势和新任务，以数字化和体系化为驱动力的海洋牧场3.0即将到来，即涵盖淡水和海洋的全域型水域生态牧场。

3.1 发展理念与目标

贯彻“两山理论”，聚焦“双碳”目标，坚持“生态、精准、智能、融合”的现代化海洋牧场发展理念，构建科学选址—规划布局—生境修复—资源养护—安全保障—融合发展的全链条产业技术发展格局，建设全域型水域生态牧场。在北方海域，打造生态牧场“现代升级版”；在南方海域，拓展生态牧场“战略新空间”；在内陆水域，开启生态牧场“淡水新试点”。创新核心技术体系，支撑国家级海洋牧场示范区全面升级。

3.2 建设特征与内容

（1）保护利用并进。在科学评估海洋牧场生物生产力和生态承载力的基础上，充分利用水域自然生产力，实现不投饵；充分利用水体营养盐存量，实现不施肥；切实保护水域生态系统，以及确保水产品质量安全，实现不用药；采用融合发展的创新模式，提升渔民经济收益，实现增收入；延长产业链，拓展产业空间，实施渔旅产业融合，实现增就业；充分发挥生态牧场生物固碳能力，实施清洁能源与生态牧场融合发展，助力实现“双碳”目标，实现增碳汇。

（2）场景空间拓展。贯彻落实习近平总书记在西藏考察工作时提出的“要坚持保护优先，坚持山水林田湖草沙冰一体化保护和系统治理，加强重要江河流域生态环境保护和修复，统筹水资源合理开发利用和保护”的指示精神，拓展海洋牧场发展空间，构建涵盖淡水和海洋的全域型水域生态牧场。全域型水域生态牧场是未来发展的目标，其将特定湖泊、河口、海湾等作为一个整体，基于生态系统原理开展选址、布局、建设、监测和管理。根据建设类型、规模、增殖放流目标物种和水域特征，优化生态牧场空间布局，实现陆海统筹、四场联动，充分体现水域生态系统的整体性[15]。

（3）核心技术突破。推动核心技术体系生态化、精准化、智能化发展。开发生态牧场机械化播苗、自动化监测、精准化计量与智能化采收装备；搭建生态牧场资源环境信息化监测平台；研发灾害预警预报与专家决策系统，提高生态牧场运行管理的智能化水平。

（4）发展模式创新。强化景观融合、资源融合和产业融合，运用景观生态学理念，研发生态牧场多维场景营造技术，开发复合高效、多营养层次的系统构建模式，实现净水保水与资源养护的一体化；结合生态牧场海域光照、风力和水动力资源特征，充分利用太阳能、风能和波浪能等清洁能源，搭建生态牧场智能安全保障与深远海智慧养殖融合发展平台；布局以水域生态牧场为核心的跨界融合产业链条，创建产业多元融合发展模式。

3.3 技术与模式展望

（1）生态工程新技术体系。研发生态型产卵育

幼设施、生境修复设施、资源养护设施、生态采捕设施，优化“草—鱼—虾—贝—参”等复合多营养级食物网结构，实现净水保水与资源养护的一体化[16]；创新水生植物高效培植方法，配套人工藻礁投放，建立人工藻礁增殖区；利用大型藻类生产生物能源、有机肥料，减少化石能源消耗，完善贝藻生态价值评估技术，打造贝类和藻类特色产业模块，构建固碳增汇、循环经济新模式。

（2）精准生产新技术体系。依托北斗卫星导航系统精准定位与高分遥感基础服务，研制浑浊水体机器人自主采收“手眼协同”智能控制设备，研发海洋牧场自主监测水面无人船、巡检水下机器人与水下无人采收机器人等装备；集成应用先进环境和资源监测传感器，研制不同载体跨介质资源环境信息在线组网装备，基于5G通信平台开发资源环境信息实时无线传输系统，构建水域生态牧场资源环境信息化监测平台；开发机械化播苗、自动化监测、精准化计量与智能化采收装备，提升水域生态牧场的机械化和智能化水平；开展生态牧场与风机融合布局设计，研制环境友好型装备，研发环保型施工和智能运维技术，科学评价清洁能源开发对海洋牧场资源环境影响；结合生态牧场水动力环境，开发波浪能等海洋清洁能源，构建智慧“能源岛”，打造水域生态牧场高质化产业融合发展基地。

（3）智能管理新技术体系。调查分析水域污染的陆源输入、时空动态、开发利用现状，以及主要生源要素的分布特征；结合建设规模、类型、内容和主要增殖目标物种，确定水域生态牧场布局的功能设施组成、最小功能单位、功能协同效应，最终科学规划各功能单位的平面布局；利用大数据分析技术，基于海洋牧场资源环境监测数据，预测不同捕捞强度下主要资源生物量变动情况，制定适宜的采捕策略，实现水域生态牧场生产效益的最大化；充分利用人工智能技术，建立资源环境预警/预报专家决策系统，为水域生态牧场中短期灾害预警/预报等科学决策提供支撑。

（4）景观融合模式。运用景观生态学原理，通过现代化陆海统筹的海洋牧场建设，构建和谐水域生境，破堤通湖海，构建生态湖海堤，修复淡水和滨海湿地，综合提升陆上湖泊和近海环境质量；建设生态廊道，修复河岸沙滩，让“盆景”变风景；大力发展景观生态旅游，配建陆基或船基旅游保障单元和水上旅游设施，制定科学合理的规章制度，适度发展游钓渔业；充分挖掘自然和文化资源，发展沿岸观光、岛上观鸟、水上观鲸、潜水观鱼等旅游产业。

（5）资源融合模式。坚持资源融合，形成集聚效应。我国内陆水域广阔，近海海岸线绵长，具有丰富的空间资源、生物资源、水资源、清洁能源和文化资源。未来，现代化水域生态牧场可依托大型综合智能平台和海上漂浮城市理念，综合利用各类水域资源，建设水域城市综合体，解决陆地资源、能源和空间匮乏的问题，提高海洋及江河、湖泊等水域产能，有效推动碳汇渔业、环境保护、资源养护和新能源开发的有机融合，构建新型“人水和谐”发展模式。

（6）产业融合模式。坚持产业融合，坚持功能多元。创新“三产融合”发展模式，在北方海域强化以“海珍品增殖”为特色的一产带二产、三产的发展模式；在南方海域强化以“渔旅融合”为特色的三产带一产、二产的模式；在内陆水域强化以“大型水域的一产带二产、三产，中小型水域三产带一产、二产”为特色的发展模式，延伸产业链，拓展产业范围，实现水域生态牧场的高质量发展。在保障环境和资源安全的前提下，实施生态牧场与能源开发、文化旅游、设施养殖等产业多元融合发展，创新生态牧场与太阳能、风能、波浪能等新能源产业，以及深远海智慧渔场等融合发展新模式。

4 结语

综上所述，海洋牧场 3.0 即将到来，但海洋牧场 1.0 和海洋牧场 2.0 的主要工作仍需持续推进。海

洋牧场 3.0 的理念、技术和模式都亟待创新与发展，海洋牧场也将拓展为涵盖淡水和海洋的水域生态牧场，全域型、智能化、多功能的水域生态牧场新业态亟待全社会的高度关注。坚持“生态、精准、智能、融合”的发展理念，坚持生态保护优先、自然修复为主，充分发挥海洋牧场的碳汇功能。坚持理念、设备、技术和管理的现代化，坚持原创驱动、技术先导和工程实施保障，系统研究和突破一系列重大基础科学问题和技术瓶颈，为国家级海洋牧场示范区建设与升级提供有力支撑，引领国际现代化水域生态牧场建设与发展。

参考文献

1 杨红生. 中国科学院“水域生态牧场”构建研究动态. 科技促进发展, 2020, 16(2): 130-131.
Yang H S. Research trends on construction of “water ecological pasture” of the Chinese Academy of Sciences. Science & Technology for Development, 2020, 16(2): 130-131. (in Chinese)

2 曾呈奎, 毛汉礼. 海洋学的发展、现状和展望. 科学通报, 1965, 10(10): 876-883.
Zeng C K, Mao H L. Development, present situation and prospect of oceanography. Chinese Science Bulletin, 1965, 10(10): 876-883. (in Chinese)

3 Ihde T F, Wilberg M J, Loewensteiner D A, et al. The increasing importance of marine recreational fishing in the US: Challenges for management. Fisheries Research, 2011, 108(2-3): 268-276.

4 市村武美. 夢ふくらむ海洋牧場: 200カイリを飛び越える新しい漁業. 東京: 東京電機大学出版局, 1991: 40-41.
Ichimura T. Dreamfish Marine Ranch: New Fishery Jumping over 200 Nautical Miles. Tokyo: Tokyo Electric University Publication Bureau, 1991: 40-41. (in Japanese)

5 杨宝瑞, 陈勇. 韩国海洋牧场建设与研究. 北京: 海洋出版社, 2014: 145-148.
Yang B R, Chen Y. Oceanic Pasture in Korea. Beijing: Ocean Press, 2014: 145-148. (in Chinese)

6 王凤霞, 张珊. 海洋牧场概论. 北京: 科学出版社, 2018: 31-40.
Wang F X, Zhang S. Introduction to Marine Ranching. Beijing: Science Press, 2018: 31-40. (in Chinese)

7 董利苹, 曲建升, 王金平, 等. 国际海洋牧场研究的发展态势. 世界农业, 2020, (2): 4-13.
Dong L P, Qu J S, Wang J P, et al. A bibliometrical analysis of competitive situation in international marine ranching research. World Agriculture, 2020, (2): 4-13. (in Chinese)

8 盛玲. 博采众长: 国外海洋牧场建设经验借赏. 中国农村科技, 2018, (4): 56-57.
Sheng L. Absorbing: borrowing foreign experience in marine ranching construction. China Rural Science & Technology, 2018, (4): 56-57. (in Chinese)

9 中村充. 人工魚礁の計算と設計—Ⅰ. 水産の研究, 1986, 25(5): 107-111.
Nakamura M. Calculation and design of artificial reefs-I. Fishery research. 1986, 25(5): 107-111. (in Japanese)

10 Lee M O, Otake S, Kim J K. Transition of artificial reefs (ARs) research and its prospects. Ocean & Coastal Management, 2018, 154: 55-65.

11 佐藤修, 影山方郎. 人工鱼礁. 东京: 恒星社厚生阁, 1984: 38-40.
Sato O, Kageyama H. Artificial reefs. Tokyo: Stellar company welfare department, 1984: 38-40. (in Japanese)

12 Masuda R, Tsukamoto K. Stock enhancement in Japan: Review and perspective. Bulletin of Marine Science, 1998, 62(2): 337-358.

13 李豹德. 我国沿海人工鱼礁建设的现状、问题及前景. 海洋渔业, 1989, (1): 24-28.
Li B D. Current situation, problems and prospects of artificial reef construction in China’s coastal areas. Marine Fisheries, 1989, (1): 24-28. (in Chinese)

14 Born, A F, Immink A J, Bartley, D M. Marine and coastal stocking: Global Status and Information Needs. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 429: 1.

15 杨红生. 我国蓝色粮仓科技创新的发展思路与实施途径. 水产学报, 2019, 43(1): 97-104.
Yang H S. Development ideas and implementation approaches

of blue granary scientific and technological innovation in China. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(1): 97-104. (in Chinese)

16 杨红生, 茹小尚, 张立斌, 等. 试论淡水生态牧场发展理念与途径. 河南师范大学学报（自然科学版）, 2021, 49(4): 90-97.

Yang H S, Ru X S, Zhang L B, et al. Developmental concept and approach of aquatic ecological ranching. Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition), 2021, 49(4): 90-97. (in Chinese)

Marine Ranching Version 3.0: History, Status and Prospects

YANG Hongsheng[1,3,4,5*] DING Dewen[2]

（1 Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2 First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources of China, Qingdao 266061, China;

3 Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

4 Engineering Laboratory of Marine Ranching, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

5 College of Advanced Agricultural Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China ）

Abstract Since the 1930s, the construction of marine ranching has successively experienced the version 1.0 (traditional marine ranching) of farming-ranching and engineering, and the version 2.0 (marine ecological ranching) of ecologization and informatization, and now it is about to enter the version 3.0 (global aquatic ecological ranching) of digitalization and systematization, which covers seawater and fresh water. Marine ranching version 3.0 must adhere to the modern aquatic ecological ranching development concept of “ecology, precision, intelligence, integration”, characterized by synchronous protection and utilization, expansion of scene and space, breakthrough in core technology, and innovation in development patterns. After establishing the whole industrial technology chain of scientific site selection, layout planning, habitat restoration, bio-resource conservation, safety protection and integrative development, a “modern upgraded version” of marine ranching will be established in the northern waters, a “strategic new space” of marine ranching will be expanded in the southern waters, and a new trial of freshwater ranching will be started, so as to support the construction of national marine ranching demonstration zone and lead the construction and development of aquatic ecological ranching around the world.

Keywords artificial reef, enhancement and releasing, waters, marine ranching, aquatic ecological ranching



杨红生 中国科学院海洋研究所和中国科学院烟台海岸带研究所常务副所长、研究员、博士生导师。中国海洋湖沼学会副理事长兼秘书长，中国自然资源学会副理事长。长期从事养殖生态与养殖设施、生境修复与资源养护、刺参生物学与遗传育种等研究。E-mail: hshyang@qdio.ac.cn

YANG Hongsheng Received B.Sc. degree from Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei, M.Sc. degree from Huazhong Agricultural University, and Ph.D. degree from Ocean University of China, Qingdao, China in 1996. He is currently the Professor, Doctorial Supervisor, and Executive Deputy Director of Institute of Oceanology and Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences (CAS), and Vice President and Secretary General of Chinese Society of Oceanology and Limnology, and Vice President of China Society of Natural Resources. He has been focusing on the research in aquacultural ecology and facility, habitat restoration and resource conservation, biology and selective breeding of sea cucumber, etc. E-mail: hshyang@qdio.ac.cn.

■责任编辑：文彦杰

*Corresponding author